

特集2：小児医療の新しい流れ

こどもの心臓を MDCT で診る

早 渕 康 信

徳島大学病院小児科

(平成19年9月3日受付)

(平成19年10月10日受理)

われわれは、先天性心疾患の診断、カテーテル治療、術後評価において、積極的に multidetector-row computed tomography (MDCT) を施行し、従来からの診断法では認められない情報が得られることを報告してきた。それらの新たな知見と特徴的な画像を提示し、MDCT の有用性について紹介する。

MDCT 画像によって小児の心血管形態の明瞭な診断が得られ、弁輪径、血管径の非侵襲的測定が可能であった。仮想内視鏡を使用することによって、動脈管開存症に対するカテーテル治療に有用な情報が得られた。動脈管開存症コイル塞栓術後症例では、コイルの肺動脈への突出の診断に対しても有力な診断法であった。さらに、血管による気管の圧迫・狭窄の合併や手術に使用した人工血管・導管・パッチの病的変化の観察にも適しており、術後評価・予後判定に有用であると考えられた。

MDCT は乳幼児の心疾患において重要な非侵襲的診断法として認識されつつある。心エコー検査・心臓カテーテル検査などと組み合わせ、詳細な病態把握が可能となる。我々は上記の新たな有用性を報告しているが、さらに今後の進歩が期待される。

近年、multidetector-row computed tomography (MDCT) の進歩は著しく、成人の循環器疾患領域においては、狭心症やプラークの確認などの冠状動脈疾患、大動脈瘤や解離、肺塞栓などの大血管疾患の診断に大きく貢献している¹⁻³⁾。小児科領域においても、徐々にではあるが、先天性心疾患の診断や術後評価への応用の報告が散見されるようになってきた⁴⁻⁶⁾。

われわれは、先天性心疾患の診断・カテーテル治療・術後評価において MDCT を施行し、従来からの診断法である心エコー検査、心臓カテーテル検査、血管造影検

査では認められない情報が得られることを報告してきた。

方 法

MDCT は、16-slice CT (Aquillion 16, Toshiba Corporation, Mediacal System Company, Tokyo, Japan) を使用した。患児は、仰臥位にて撮影したが、乳幼児の場合には、トリクロリールなどで鎮静し、施行することとした。Scan parameters は、Slice thickness 1.0mm, Rotation time 0.5sec, Table speed per rotation 23mm, 120KVp, 50-150mAであった。造影に際しては、上肢または下肢から2.0mL/kg の Iopamiron 300 (Nippon Schering, Osaka, Japan) を注入した。心電図同期は行わなかった⁷⁾。

われわれが報告した新しい知見

1. 先天性心疾患の形態的診断に対する有用性

従来、乳幼児期における先天性心疾患の形態的診断や心機能評価には、心エコー検査や心臓カテーテル検査、血管造影検査が施行されてきた。近年、MDCT が普及し、その有用性が報告されるに従って、診断に使用される頻度が増加してきた。

MDCT は、心内奇形の診断や、収縮能・拡張能評価においては、心エコー検査に及ばないものの、大動脈奇形や肺動脈末梢の状態、肺静脈異常に関しては明瞭な診断が得られた。また、心臓カテーテル検査、血管造影検査は、乳幼児の場合、全身麻酔が必要となり、侵襲性が高いが、MDCT においては、軽度の鎮静のみで撮影が可能な点で優れている。

図1は、総肺静脈還流異常症の乳児例である。心エコー検査や血管造影検査よりも明瞭な形態診断が可能であった。また、術後評価にも使用でき、人工血管の形態

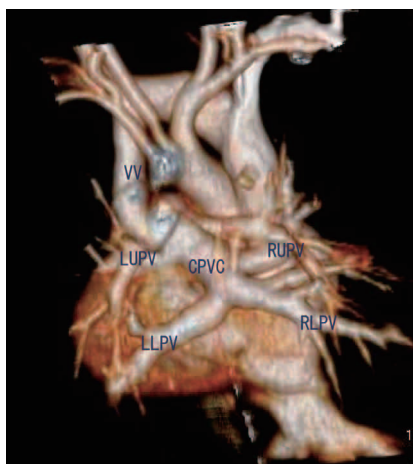


図1 総肺静脈還流異常症 (Ia)

VV: 垂直静脈, CPVC: 共通静脈腔, RUPV: 右上肺静脈
LUPV: 左上肺静脈, RLPV: 右下肺静脈, LLPV: 左下肺静脈

が確認できた (図2)。

2. 弁輪径・血管径などの非侵襲的測定

ファロー四徴症, 両大血管右室起始症などの肺血流量低下をきたすチアノーゼ性先天性心疾患や三尖弁閉鎖, 単心室などのフォンタン型手術を施行する複雑心疾患では, 肺動脈弁輪径, 左右肺動脈径, 肺動脈狭窄の有無の診断が, 手術方法の決定に関して重要である。従来, これらは, 血管造影検査によって測定されてきた⁸⁻¹¹⁾。

われわれは, 心臓カテーテル検査・血管造影検査の1-2日前に, MDCTを施行し, これらの部位におけるMDCTと血管造影検査の測定値の関係について検討した (図3, 4)。図5は, MDCTによって得られた測定値とGold Standardである血管造影における測定値との関係を示している。肺動脈弁輪径においては, 緩やかな相関を示したが, 両側肺動脈径や肺動脈狭窄部径の値は,

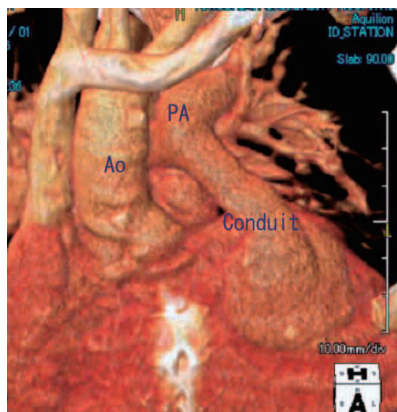


図2 両大血管右室起始症 Rastelli 術後症例
Conduit: 導管, Ao: 大動脈, PA: 肺動脈

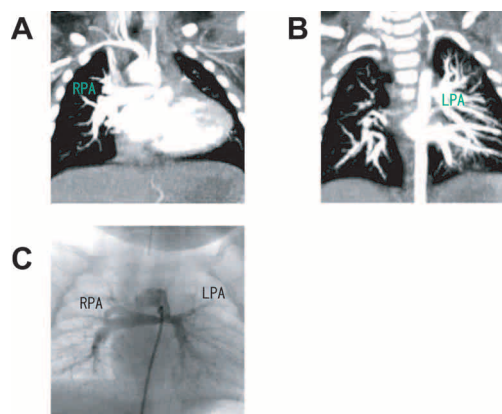


図3 心室中隔欠損・肺動脈閉鎖

A: MDCTにおいて右肺動脈を観察する B: MDCTにおいて左肺動脈を観察する C: 動脈管より両側肺動脈を血管造影にて観察する。

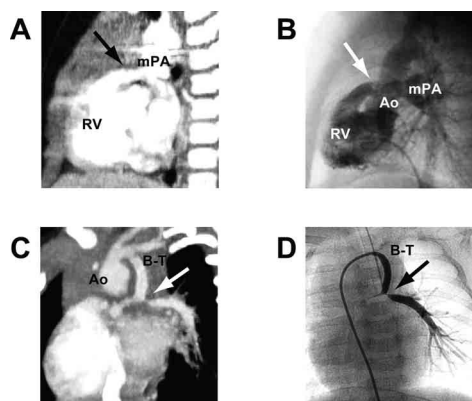


図4

A: ファロー四徴症 MDCTにて肺動脈弁輪径を観察する
B: ファロー四徴症 血管造影にて肺動脈弁輪径を観察する
C: 修正大血管転換・肺動脈閉鎖 MDCTにて肺動脈狭窄を観察する
D: 修正大血管転換・肺動脈閉鎖 血管造影にて肺動脈狭窄を観察する
RV: 右心室, mPA: 主肺動脈, Ao: 大動脈, B-T: B-T シャント

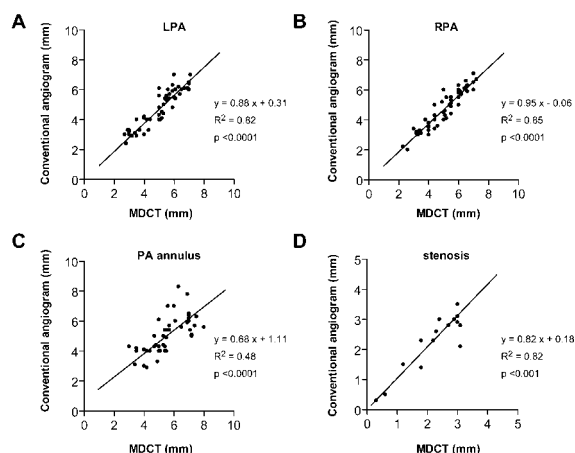


図5 MDCTと血管造影による肺動脈計測の関係

A 左肺動脈 B 右肺動脈 C 肺動脈弁輪径 D 肺動脈狭窄部

極めて有意な相関を示した。また、Bland-Altman Plots によって、各部位における測定誤差を検討した。MDCT は軽度過大評価する傾向を示すものの臨床的には問題にならない範囲内の誤差であると考えられた (図 6)。

3. 仮想内視鏡による血管の状態把握

血管仮想内視鏡は、MDCT によって得られた画像データから、real NTAGE (KGT Graphic Technology, Tokyo, Japan) を使用し、作成した。血管仮想内視鏡を使用することによって、血管壁の形態や異常、石灰化の観察や異常血管の状態や狭窄を血管内部から観察することが可能であった。特に、動脈管開存症においては、動脈管の大動脈側および肺動脈側の開口部の観察に有用であった¹²⁾ (図 7)。

4. カテーテル治療の適応と治療後評価

動脈管開存症コイル塞栓術施行症例では、動脈管の形態診断や最小径の正確な診断が非常に重要である。通常、動脈管開存症コイル塞栓術は、最小径が 3 mm 未満の症例に対して適応があるとされている。MDCT を用いた画像では、明瞭な観察ができ、全身麻酔を必要とするカテーテル検査、治療の前に、コイル塞栓術が可能か否かの把握が可能であった (図 8)。また、仮想内視鏡を使用することで、大動脈側、肺動脈側から動脈管へのカテーテル、コイルの進め方と同一の視野が得られることも、カテーテル治療に対して有用であると考えられた。コイル塞栓術後においては、時に、大動脈・肺動脈側へのコイルの突出が問題となることがある。血管仮想内視鏡は、コイルの大動脈、肺動脈への突出の診断においても、血管内エコー、経胸壁エコー、血管造影検査などの他の画像診断法よりも明瞭に示すことができた¹²⁾ (図 9)。

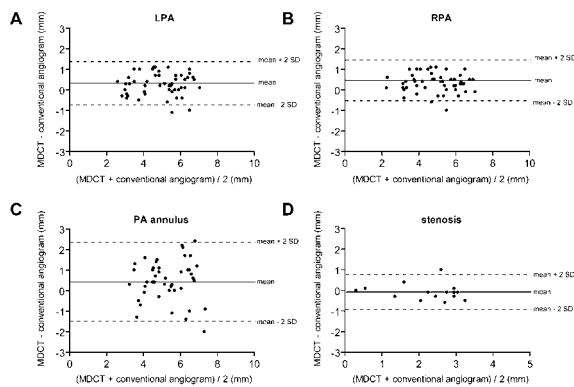


図 6 MDCT と血管造影による肺動脈計測の誤差に関する検討 (Bland-Altman plots)

A 左肺動脈 B 右肺動脈 C 肺動脈弁輪径 D 肺動脈狭窄部

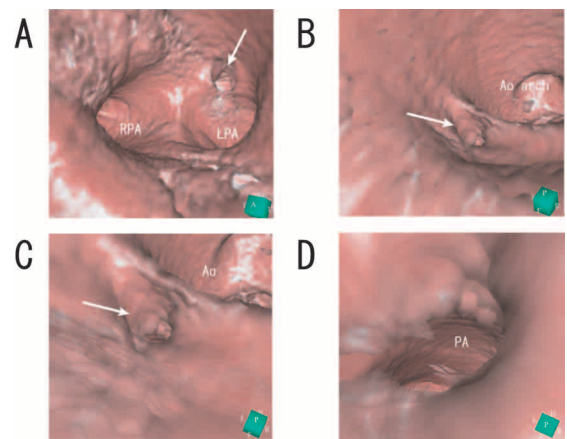


図 7 血管内視鏡によって動脈管を観察する

A 主肺動脈から動脈管 (矢印) を観察する

B, C, D 大動脈から徐々に動脈管開口部へと近づき、観察する
RPA: 右肺動脈 LPA: 左肺動脈 Ao arch: 大動脈弓 PA: 肺動脈

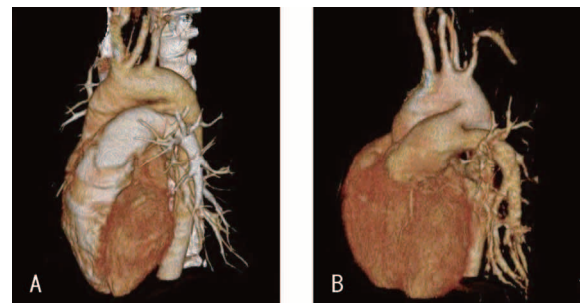


図 8

A 動脈管開存症 動脈管は円錐型で最小径は、2.5mm

B 動脈管開存症 動脈管は筒型で最小径は、8.0mm

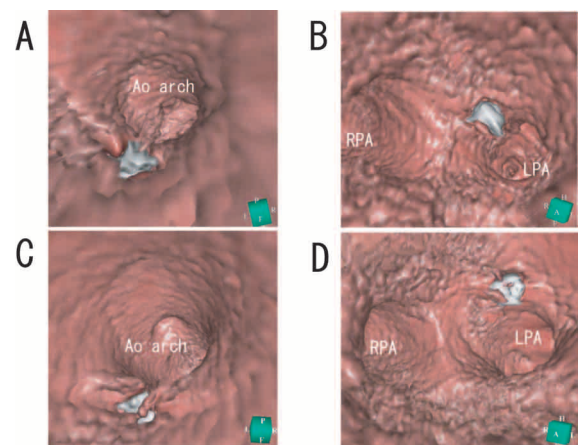


図 9 血管内視鏡によって動脈管開存症コイル塞栓術後症例を観察する

A, B 5 歳男児例, C, D 39 歳女性例

A, C 下行大動脈から大動脈弓を見上げるようにして、動脈管開口部のコイルを観察する

B, D 主肺動脈から観察した左右肺動脈分岐部を描写し、動脈管開口部のコイルを観察する

RPA: 右肺動脈 LPA: 左肺動脈 Ao arch: 大動脈弓

5. 先天性心疾患による気道圧迫・狭窄の診断

先天性心疾患症例において、呼吸障害が認められる場合、その原因が、心不全によるものなのか、気道狭窄によるものなのかを診断するのは容易ではない。特に先天性心疾患を伴う乳幼児では、大動脈、及びその分枝、肺動脈などによる気管の圧迫に伴う狭窄が合併することがある。このような病態は、心エコー検査・血管造影検査では診断できず、全身麻酔を必要とし、侵襲的である気管支鏡が必要であった。最終診断には気管支鏡が必要であるが、MDCT を撮影することによって、診断に至るまでの有力な診断法となり得ることが示された (図10)。

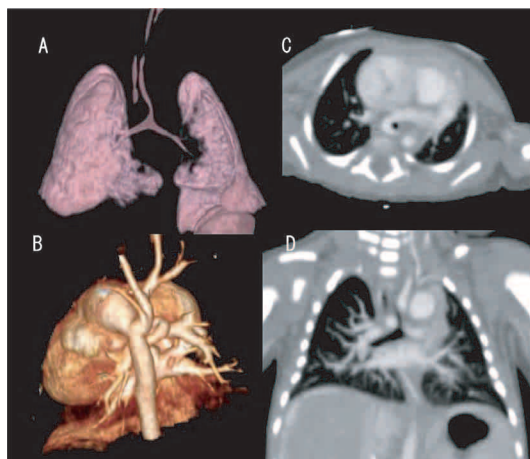


図10 左室低形成症候群，左肺動脈右肺動脈起始症

- A：気管・気管支を示す。気管の圧迫が認められる
 B：大動脈，肺動脈を後方から観察する
 左肺動脈が右肺動脈から分岐している像が確認される。
 この異常によって，同部位の気管支が圧迫されている
 C：水平断面で左肺動脈を観察する
 主気管支を囲い込むように肺動脈が走行している。
 D：前頭断面で肺動脈を観察する
 圧迫された気管の横を左肺動脈が走行しているのが観察される

6. 手術に使用した血管壁・人工血管・導管・パッチの病的変化

MDCT の有用性のひとつとして、血管造影検査では、診断が困難である血管壁の病的変化の観察があげられる¹³⁻¹⁶⁾。成人領域では、冠状動脈のプラークの大きさや性状の診断が可能であるとされているが、小児科領域においては、血管壁・人工血管などの状態把握への応用の報告はない。われわれは、PTFE (Gore-Tex) グラフト・パッチに異常肥厚した内膜や石灰化を観察し、術後評価・予後判定に利用している (図11, 12)。MDCT 施

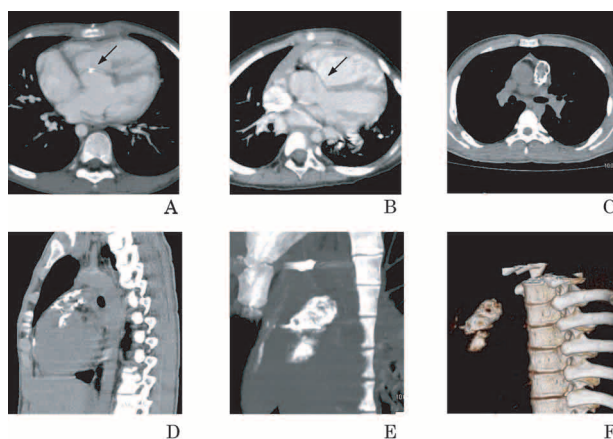


図11

- A：心室中隔欠損症術後症例 パッチに石灰化を認める
 B：心室中隔欠損症術後症例 パッチに石灰化を認めない
 C-F：心室中隔欠損・肺動脈閉鎖 Rastelli 術後症例
 人工血管に石灰化を認める

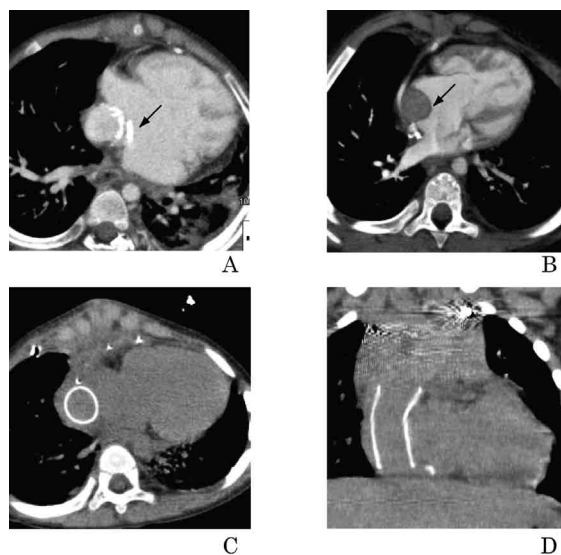


図12

- A：両大血管右室起始症 Fontan 後症例
 パッチに石灰化を認める
 B：両大血管右室起始症 Fontan 後症例
 パッチに石灰化を認めない
 C, D：単心室 TCPC 術後症例 人工血管全体に石灰化を認める

行後、再手術を施行され、実際に組織学的変化を確認しえた4症例において、MDCT での石灰化の診断が組織学的診断と一致するかどうか検討した。図13に示すように、両者の診断は一致した。また、PTFE (Gore-Tex) グラフト・パッチの補填部位による石灰化の進行を検討した。対象は、心室中隔欠損欠損孔閉鎖術のパッチ使用症例29

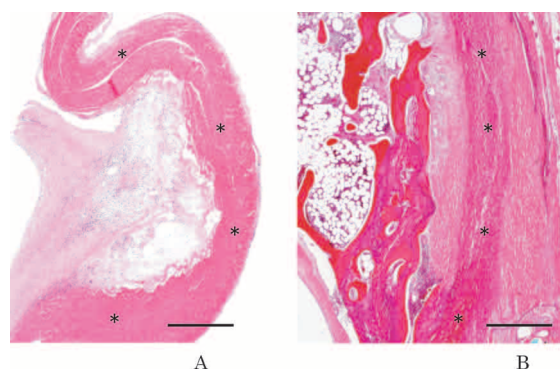


図13

- A：再手術時に取り出した Gore-Tex パッチ
(図12 Bと同一症例) MDCT に石灰化は認めなかった。
組織学的検査においても石灰化は認めない。膠原線維，線維芽細胞の増生と平滑筋のパッチへの浸潤が認められる。
- B：再手術時に取り出した Gore-Tex パッチ
(図11 C-Fと同一症例) MDCT に石灰化を認め，組織学的検査においても石灰化・骨化を認める。
Gore-Texパッチの両側には膠原線維，線維芽細胞の増生が認められ，骨化が好酸性に，石灰化は好塩基性に認められる。
(*)：Gore-Tex パッチをしめす。

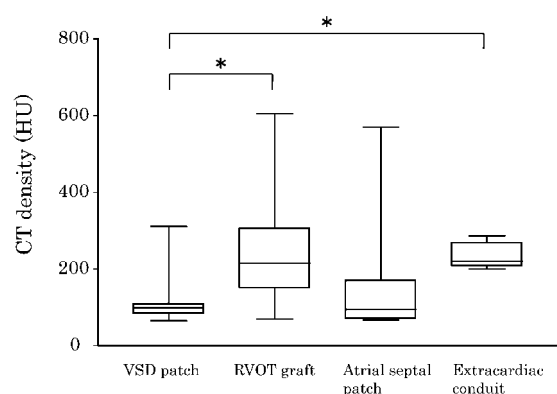


図14 人工補填物の補填部位による CT 値の違い
*： $p < 0.01$

例，右室流出路補填物使用症例32例，Fontan 術心房内パッチ使用症例 8 例，Extracardiac Total Cavopulmonary Connection の導管使用症例 7 例である。これらの症例の CT 値を比較検討した。PTFE の使用部位により，術後の石灰化の進行に差がある可能性も示唆された⁴⁾(図14)。

結 語

MDCT は乳幼児の心疾患において重要な非侵襲的診断法として認識されつつある。心エコー検査・心臓カ

テーテル検査などと組み合わせ，詳細な病態把握が可能となる。われわれは上記の新たな有用性を報告しているが，さらに今後の進歩が期待される。

文 献

- 1 Haberl, R., Tittus, J., Bohme, E., Czernik, A., *et al.* : Multislice spiral computed tomographic angiography of coronary arteries in patients with suspected coronary artery disease: an effective filter before catheter angiography? *Am. Heart J.*, **149** : 1112-1119, 2005
- 2 Hoffmann, U., Moselewski, F., Cury, R. C., Ferencik, M., *et al.* : Predictive value of 16-slice multidetector spiral computed tomography to detect significant obstructive coronary artery disease in patients at high risk for coronary artery disease: patient-versus segment-based analysis. *Circulation*, **110** : 2638-2643, 2004
- 3 Ropers, D., Baum, U., Pohle, K., Anders, K., *et al.* : Detection of coronary artery stenoses with thin-slice multi-detector row spiral computed tomography and multiplanar reconstruction. *Circulation*, **107** : 664-666, 2003
- 4 Hayabuchi, Y., Mori, K., Kitagawa, T., Sakata, M., *et al.* : Polytetrafluoroethylene graft calcification in patients with surgically repaired congenital heart disease: Evaluation using multidetector-row computed tomography. *Am. Heart J.*, **157** : 806e1-e6, 2007
- 5 Shiraishi, I., Yamamoto, Y., Ozawa, S., Kawakita, A., *et al.* : Application of helical computed tomographic angiography with differential color imaging three-dimensional reconstruction in the diagnosis of complicated congenital heart diseases. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, **125** : 36-39, 2003
- 6 Goo, H. W., Park, I. S., Ko, J. K., Kim, Y. H., *et al.* : Computed tomography for the diagnosis of congenital heart disease in pediatric and adult patients. *Int. J. Cardiovasc. Imaging*, **21** : 347-365, 2005
- 7 Roos, J. E., Willmann, J. K., Weishaupt, D., Lachat, M., *et al.* : Thoracic aorta: motion artifact reduction with retrospective and prospective electrocardiography-assisted multi-detector row CT. *Radiology*, **222** :

- 271-277, 2002
- 8 Gentles, T. L., Mayer, J. E., Jr., Gauvreau, K., Newburger, J. W., *et al.* : Fontan operation in five hundred consecutive patients : factors influencing early and late outcome. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, **114** : 376-391, 1997
 - 9 Elzenga, N. J., von, Suylen, R. J., Frohn-Mulder, I., Essed, C. E., *et al.* : Juxtaductal pulmonary artery coarctation. An underestimated cause of branch pulmonary artery stenosis in patients with pulmonary atresia or stenosis and a ventricular septal defect. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, **100** : 416-424, 1990
 - 10 Goff, D. A., Blume, E. D., Gauvreau, K. : Clinical outcome of fenestrated Fontan patients after closure : the first 10 years. *Circulation*, **102** : 2094-2099, 2000
 - 11 Hayabuchi, Y., Mori, K., Kitagawa, T., Inoue, M., *et al.* : Accurate quantification of pulmonary artery diameter in patients with cyanotic congenital heart disease using multidetector-row computed tomography *Am. Heart J.*, **154** : 783-788, 2007
 - 12 Hayabuchi, Y., Mori, K., Kagami, S. : Virtual endoscopy using multidetector-row CT for coil occlusion of patent ductus arteriosus. *Catheter. Cardiovasc. Interv.*, **70** : 434-439, 2007
 - 13 Moselewski, F., Ropers, D., Pohle, K., Hoffmann, U., *et al.* : Comparison of measurement of cross-sectional coronary atherosclerotic plaque and vessel areas by 16-slice multidetector computed tomography versus intravascular ultrasound. *Am. J. Cardio.*, **194** : 1294-1297, 2004
 - 14 Leber, A. W., Becker, A., Knez, A., von, Ziegler, F., *et al.* : Accuracy of 64-slice computed tomography to classify and quantify plaque volumes in the proximal coronary system : a comparative study using intravascular ultrasound. *J. Am. Coll. Cardiol.*, **47** : 672-677, 2006
 - 15 Wang, L., Jerosch-Herold, M., Jacobs, D. R., Jr., Shahar, E., *et al.* : Coronary artery calcification and myocardial perfusion in asymptomatic adults : the MESA (Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis). *J. Am. Coll. Cardiol.*, **48** : 1018-1026, 2006
 - 16 Arad, Y., Goodman, K. J., Roth, M., Newstein, D., *et al.* : Coronary calcification, coronary disease risk factors, C-reactive protein, and atherosclerotic cardiovascular disease events : the St. Francis Heart Study. *J. Am. Coll. Cardiol.*, **46** : 158-165, 2005

Clinical application of multidetector-row CT in the evaluation of congenital heart disease

Yasunobu Hayabuchi

Department of Paediatrics, Tokushima University Hospital, Tokushima, Japan

SUMMARY

Multidetector-row CT (MDCT) scanners are a widely available, accurate, and noninvasive technique for the diagnosis of cardiovascular disorders. In the present review, we showed the clinical application for the diagnosis of congenital heart disease. Our study demonstrated the feasibility of MDCT in assessing pulmonary artery size and morphology. Virtual endoscopy using MDCT enables evaluation of the inner space of the vessels. Furthermore, MDCT was useful for the evaluation of prosthetic graft calcification

Key words : congenital heart disease, multidetector-row computed tomography, virtual endoscopy, calcification